

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2000357842 A**(43) Date of publication of application: **26.12.00**

(51) Int. Cl.

**H01S 5/20**  
**// H01L 33/00**
(21) Application number: **11169504**(22) Date of filing: **16.06.99**(71) Applicant: **SONY CORP**
**TOJO TAKESHI**  
**OZAWA MASABUMI**  
**UCHIDA SHIRO**  
**HIRATA SHOJI**
(54) **SEMICONDUCTOR LASER**

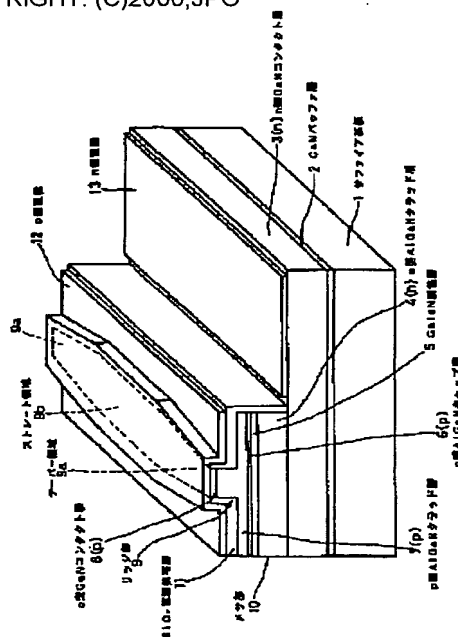
## (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a semiconductor laser using nitride based III-V compound semiconductor which can easily realize decrease of a driving voltage, stabilization in transverse mode, increase of a divergence angle of beams in the horizontal direction of a far field pattern, prevention of deterioration of laser characteristic which is to be caused by irregularity of the form of a resonator end surface, and improvement of noise characteristic.

**SOLUTION:** In a GaN based semiconductor laser of a refractive index waveguide type in which SiO<sub>2</sub> current constriction layers 11 absorbing no lights from a GaInN active layer 5 are formed on both sides of a ridge part 9 composed of an upper layer of a P-type AlGaIn clad layer 7 and a P-type GaN contact layer 8, tapered regions 9a whose width decreases from the central part of the resonator lengthwise direction toward both ends of the resonator lengthwise direction are formed in both end parts of the ridge 9 in the resonator lengthwise direction. The central part of the ridge 9 in the resonator lengthwise direction is made a straight region 9b halving a constant width. The width W1 of both ends of the ridge 9 in the resonator lengthwise direction is

made at most 3  $\mu\text{m}$ . The width W2 of the central part of the ridge 9 in the resonator lengthwise direction is made at least 4  $\mu\text{m}$ .

COPYRIGHT: (C)2000,JPO





## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第 1 導電型の第 1 のクラッド層と、  
上記第 1 のクラッド層上の活性層と、  
上記活性層上の第 2 導電型の第 2 のクラッド層とを有し、  
上記第 2 のクラッド層に設けられたリッジ部の両側の部分に、上記活性層からの光を吸収しない材料からなる電流狭窄層が設けられた電流狭窄構造を有する窒化物系 III-V 族化合物半導体を用いた半導体レーザにおいて、

上記リッジ部は、共振器長方向の両端部に上記共振器長方向の中央部から上記共振器長方向の両端部に向かう方向に幅が減少するテーパ領域を有することを特徴とする半導体レーザ。

【請求項 2】 上記リッジ部の上記共振器長方向の中央部における幅が  $4\mu\text{m}$  以上であり、上記リッジ部の上記共振器長方向の両端面における幅が  $3\mu\text{m}$  以下であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ。

【請求項 3】 上記リッジ部の上記共振器長方向の中央部における幅が  $4\mu\text{m}$  以上であり、上記リッジ部の上記共振器長方向の両端面における幅が  $2\mu\text{m}$  以上  $3\mu\text{m}$  以下であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ。

【請求項 4】 上記リッジ部の上記共振器長方向の中央部における幅が  $4\mu\text{m}$  以上であり、上記リッジ部の上記共振器長方向の両端面における幅が  $2\mu\text{m}$  以下であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は半導体レーザに関するものであり、特に、窒化物系 III-V 族化合物半導体を用いた半導体レーザに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 GaN に代表される窒化物系 III-V 族化合物半導体（以下「GaN 系半導体」ともいう）は、他の III-V 族化合物半導体と比較してエネルギーバンドギャップを大きくすることができるため、青色乃至紫外領域の短波長帯で発振可能な半導体レーザの材料として有望である。特に、この GaN 系半導体を用いた半導体レーザは、既存の光学系を使用して読み出し／書き込みの行われる光ディスクの限界波長とされている  $400\text{nm}$  前後の発振波長が得られることから、高記録密度の光ディスク装置の光源として大いに注目されている。

【0003】 図 4 および図 5 は、これまでに実現されている従来の GaN 系半導体レーザの一例を示す（例えば Japanese Journal of Physics Letters vol. 36 p. L1568）。ここで、図 4 は斜視図、図 5 は平面図である。ここに示す従来の GaN 系半導体レーザは、屈折率導波型のものである。

10

20

30

40

50

【0004】 図 4 および図 5 に示すように、この従来の GaN 系半導体レーザにおいては、c 面のサファイア ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 基板 101 上にアンダーの GaN パッファ層 102 を介して、n 型 GaN コンタクト層 103、n 型 AlGaIn クラッド層 104、GaInN 活性層 105、p 型 AlGaIn キャップ層 106、p 型 AlGaIn クラッド層 107 および p 型 GaN コンタクト層 108 が順次積層されている。

【0005】 p 型 AlGaIn クラッド層 107 の上層部および p 型 GaN コンタクト層 108 は、一方向に延在するストレートストライプ型のリッジ形状を有する。符号 109 は、これらの p 型 AlGaIn クラッド層 107 の上層部および p 型 GaN コンタクト層 108 により構成されるリッジ部を示す。このリッジ部 109 は共振器長方向に均一な幅 W を有する。なお、このリッジ部 109 の幅（リッジ幅ともいう）W は、リッジ部 109 の底部での幅を指す。

【0006】 n 型 AlGaIn クラッド層 104、GaInN 活性層 105、p 型 AlGaIn キャップ層 106 および p 型 AlGaIn クラッド層 107 の下層部は、一方向に延在する所定のメサ形状を有する。符号 110 は、そのメサ部を示す。なお、図 5 においては、このメサ部 110 に対応する部分が示され、これに隣接する部分は図示省略されている。

【0007】 リッジ部 109 の両側の部分には、GaInN 活性層 105 からの光を吸収しない  $\text{SiO}_2$  電流狭窄層 111 が成膜され、これによって電流狭窄構造が形成されている。この  $\text{SiO}_2$  電流狭窄層 111 は、電極間での短絡を防止するためにメサ部 110 の側面にも設けられている。また、このようにリッジ部 109 の両側に  $\text{SiO}_2$  電流狭窄層 111 が成膜されることによって、リッジ部 109 に対応する部分の屈折率が高く、その両側の部分の屈折率が低いステップ状の屈折率分布が接合と平行な方向に作り付けられている。

【0008】 p 型 GaN コンタクト層 108 および  $\text{SiO}_2$  電流狭窄層 111 上には、Ni/Pt/Au 電極のような p 側電極 112 が設けられ、メサ部 110 に隣接する n 型 GaN コンタクト層 103 上には、Ti/Al 電極のような n 側電極 113 が設けられている。

【0009】 また、この従来の GaN 系半導体レーザの両共振器端面は、サファイア基板 101 をその上のレーザ構造を形成する GaN 系半導体層と共に劈開（疑似劈開）することにより形成された疑似劈開面により構成されている。ここで、サファイア基板を用いた GaN 系半導体レーザでは、レーザ構造を形成する GaN 系半導体層を反応性イオンエッチング (RIE) 法によりエッチングし、このエッチングにより形成された切断面（エッチ・ファセット）を共振器端面とすることも可能である。しかしながら、この場合、サファイア基板を RIE 法によりエッチングすることが困難であるため、共振器

端面から出射されるレーザ光の一部がサファイア基板の表面で反射し、遠視野像 (FFP) に乱れが生じる。そのような GaN 系半導体レーザを光ディスク装置の光源として用いた場合、光学ピックアップとしての性能は低下する。これに対して、疑似劈開面により共振器端面が構成されたこの従来の GaN 系半導体レーザでは、共振器端面から出射されたレーザ光がサファイア基板表面で反射されることが無く、レーザ光の遠視野像の形状が良好である。

【0010】上述のように構成された従来の GaN 系半導体レーザでは、リッジ内外の実効屈折率差  $\Delta n$ 、すなわち、リッジ部 109 に対応する部分とその両側の部分との実効屈折率差  $\Delta n$  により、接合と平行な方向 (水平方向) の光場がリッジ部 109 に対応する部分に閉じ込められる、いわゆる屈折率導波 (実屈折率導波) が実現されている。これにより、この従来の GaN 系半導体レーザでは、低閾値電流かつ比較的安定した水平横モードでの発振が得られている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した従来の GaN 系半導体レーザ、すなわち、ストレートストライプ型のリッジ構造を有する GaN 系半導体レーザにおいては、次のような問題があった。

【0012】すなわち、図 4 および図 5 に示す従来の GaN 系半導体レーザにおいて、共振器端面から出射されるレーザ光の横モードは、共振器端面でのリッジ幅の影響を強く受けることから、横モードを安定に維持するためには、リッジ幅  $W$  を  $3 \mu\text{m}$  以下程度とすることが望ましい。しかしながら、この従来の GaN 系半導体レーザでは、リッジ幅  $W$  を狭くした場合、p 型 GaN コンタクト層 108 と p 側電極 112 とのコンタクト面積が減少することにより、電流経路が狭くなり微分抵抗が高まるため、駆動電圧が上昇する。また、この場合、GaInN 活性層 105 における利得領域の幅が減少し、導波ロスが増加することにより、駆動電流の上昇をも引き起こしかねない。

【0013】このように、従来の GaN 系半導体レーザにおいては、駆動電圧の上昇を抑える観点からリッジ幅  $W$  を  $3 \mu\text{m}$  よりあまり狭くすることができず、そのため、高次の水平横モードが発生しやすいという問題があった。水平横モードに高次のモードが発生すると、電流-光出力特性に非線形性 (キンク) が現れると共に、レーザ光の出射角、出射方向が変化し、レーザ特性は悪化する。特に、電流-光出力特性の非線形性が使用光出力よりも低いところで発生した場合、ジッタが極端に悪化するため、そのような半導体レーザを光ディスク装置の光源として使用することはできなくなる。

【0014】また、GaN 系半導体レーザを光ディスク装置の光源として用いる場合、遠視野像の水平方向のビーム拡がり角  $\theta//$  が同程度であれば、従来使用されてい

る AlGaAs 系半導体レーザや AlGaInP 系半導体レーザなどと比較して、組み立て時に厳しい位置精度が要求される。そのため、GaN 系半導体レーザを光ディスク装置の光源に用いる場合、出射端面でのビーム径の縮小化を図り、遠視野像の水平方向のビーム拡がり角  $\theta//$  を、例えば  $8^\circ$  程度以上に拡大してやる必要がある。この理由からも、リッジ幅  $W$  が  $3 \mu\text{m}$  では不十分である。

【0015】さらに、この従来の GaN 系半導体レーザにおいては、次のような理由から、リッジ幅  $W$  はさらに狭く設定されることが望ましい。

【0016】すなわち、図 4 および図 5 に示す従来の GaN 系半導体レーザでは、その動作時に注入キャリアによるプラズマ効果によってリッジ部 109 に対応する部分の屈折率が低下し、リッジ内外の屈折率分布に変化が生じ、極端な場合、水平横モードに高次のモードが発生することがある。これを防止し、水平横モードをより安定なものとするためには、リッジ内外の実効屈折率差  $\Delta n$  を、プラズマ効果による屈折率の低下分 ( $2 \times 10^{-3}$  程度) より大きくする必要がある。

【0017】ここで、図 6 に、図 4 および図 5 に示すと同様のストレートストライプ型のリッジ構造を有する GaN 系半導体レーザにおける基本モードの発振条件を示す。図 6 において、横軸はリッジ内外の実効屈折率差  $\Delta n$  を示し、縦軸はリッジ幅  $W$  を示す。また、曲線 A は、GaN の屈折率  $n = 2.504$ 、波長  $\lambda = 400 \text{ nm}$  の条件を与えて求めた 1 次モードのカットオフ条件であり、破線 B は、キャリアのプラズマ効果による屈折率の低下分を考慮したときの实効屈折率差  $\Delta n$  の下限 ( $\Delta n = 2 \times 10^{-3}$ ) を示す。この GaN 系半導体レーザを基本モードで発振させるためには、通常、図 6 において、リッジ内外の実効屈折率差  $\Delta n$  およびリッジ幅  $W$  を曲線 A の下側の領域に設定すればよいが、キャリアのプラズマ効果を考慮したときの基本モードの発振条件は、曲線 A、破線 B および横軸で囲まれた領域 (図 6 中、斜線を施した部分) となり、この場合、リッジ幅  $W$  は  $2 \mu\text{m}$  以下に設定する必要がある。

【0018】また、サファイア基板上に作製される GaN 系半導体レーザでは、サファイア基板自体に劈開性がないために、GaAs 基板のような劈開の容易な基板上に作製される他の種類の半導体レーザ、具体的には、GaAs 基板を用いた AlGaAs 系半導体レーザや AlGaInP 系半導体レーザのように、機械的な加工による共振器端面の形成が容易ではない。そのため、図 4 および図 5 に示す従来の GaN 系半導体レーザにおいては、相対する 2 つの共振器端面が、リッジ部 109 の延長方向したがって共振器長方向に対して垂直にならないことがある。このように共振器端面が共振器長方向に対して傾斜すると、その共振器端面から出射されるレーザ光の光軸も傾く。このことは、図 7 に示す共振器端面の

水平方向の傾きとレーザ光の出射方向との関係より明らかである。

【0019】共振器端面の傾きは、上述のようにレーザ光の出射方向を変化させるのみならず、端面反射率の減少、スロープ効率の増大または減少、閾値電流の増大などを招き、レーザ特性に深刻な影響を与える。そこで、本発明者は、図4および図5に示すと同様のストレートストライプ型のリッジ構造を有するGaN系半導体レーザにおいて、共振器端面が水平方向に傾いた場合、端面反射率および閾値電流がどの程度変化するかを調べた。図8および図9にその結果を示す。図8は、共振器端面の水平方向傾きと端面反射率との関係を示し、図9は、共振器端面の水平方向の傾きと閾値電流の上昇分との関係を示す。図8および図9において、曲線Aはリッジ幅 $W=4\mu\text{m}$ とした場合、曲線Bはリッジ幅 $W=3\mu\text{m}$ とした場合、曲線Cはリッジ幅 $W=2\mu\text{m}$ とした場合の結果を示す。図8および図9より、共振器端面の傾きが大きくなるに従って端面反射率が低下し、閾値電流が上昇することがわかる。

【0020】こうした現象は、ウェーハ上の互いに隣り合う領域に形成されるチップ間で異なるため、同一ロット内での半導体レーザの特性のバラツキが大きくなり、製造歩留まりを低下させる要因になる。

【0021】ここで、図8および図9からは、リッジ幅 $W$ が $4\mu\text{m}\rightarrow 3\mu\text{m}\rightarrow 2\mu\text{m}$ と次第に小さくなるに従って、共振器端面の傾きに伴う端面反射率の低下および閾値電流の上昇の度合いが低減されることがわかる。したがって、従来のリッジ構造を有するGaN系半導体レーザでは、リッジ幅 $W$ を狭くするほど、共振器端面の形状（主にその傾き）のバラツキによるレーザ特性の悪化が防止され、製造歩留まりが向上する。

【0022】また、従来のGaN系半導体レーザでは、共振器端面におけるリッジ幅 $W$ が広がるほど、戻り光による攪乱の影響を受けやすくなるため、ノイズ特性を向上の観点からもリッジ幅 $W$ は狭くすることが好ましい。

【0023】しかしながら、すでに述べたように、従来のGaN系半導体レーザにおいては、駆動電圧の上昇を抑制する観点からリッジ幅 $W$ の下限は $3\mu\text{m}$ 程度に制限される。そのため、従来のGaN系半導体レーザでは、駆動電圧を上昇させることなく、共振器端面形成の良否がレーザ特性に及ぼす悪影響の低減を図り、かつ、ノイズ特性を向上させることが極めて困難であった。

【0024】したがって、この発明の目的は、駆動電圧の低減、横モードの安定化、遠視野像の水平方向のビーム拡がり角の拡大、共振器端面の形状のバラツキによるレーザ特性の悪化防止およびノイズ特性の向上を容易に実現することのできる窒化物系III-V族化合物半導体を用いた半導体レーザを提供することにある。

【0025】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、この発明は、第1導電型の第1のクラッド層と、第1のクラッド層上の活性層と、活性層上の第2導電型の第2のクラッド層とを有し、第2のクラッド層に設けられたリッジ部の両側の部分に、活性層からの光を吸収しない材料からなる電流狭窄層が設けられた電流狭窄構造を有する窒化物系III-V族化合物半導体を用いた半導体レーザにおいて、リッジ部は、共振器長方向の両端部に共振器長方向の中央部から共振器長方向の両端部に向かう方向に幅が減少するテーパ領域を有することを特徴とするものである。

【0026】この発明において、窒化物系III-V族化合物半導体はGa、Al、In、BおよびTlからなる群より選ばれた少なくとも1種類のIII族元素と、少なくともNを含み、場合によってはさらにAsまたはPを含むV族元素とからなる。

【0027】この発明において、電流狭窄層の材料としては、例えば、酸化シリコン( $\text{SiO}_2$ )、窒化シリコン( $\text{SiN}$ )などの誘電体、AlGaInN、GaInN、GaNなどの窒化物系III-V族化合物半導体、ZnSなどのIII-V族化合物半導体を用いられる。

【0028】この発明においては、駆動電圧の上昇を抑制しつつ、横モードを安定に維持するために、好適には、リッジ部の共振器長方向の中央部における幅が $4\mu\text{m}$ 以上に選ばれ、かつ、リッジ部の共振器長方向の両端面における幅が $3\mu\text{m}$ 以下に選ばれる。特に、出射されるレーザ光の横モードは、リッジ部の共振器長方向の両端面における幅（共振器端面での幅）の影響を強く受けるため、リッジ部の共振器長方向の両端面における幅については、より好適には $2\mu\text{m}$ 以上 $3\mu\text{m}$ 以下に選ばれ、さらに好適には $2\mu\text{m}$ 以下に選ばれる。

【0029】上述のように構成されたこの発明によれば、リッジ部が共振器長方向の両端部に共振器長方向の中央部から共振器長方向の両端部に向かう方向に幅が減少するテーパ領域を有することにより、リッジ部の共振器長方向の両端面における幅よりも、リッジ部の共振器長方向の中央部における幅の方が広がる。そのため、横モードを安定に維持するために、リッジ部の共振器長方向の両端面における幅を狭く設定した場合であっても、それとは独立に、リッジ部の共振器長方向の中央部における幅を広く設定することができる。これにより、電極とのコンタクト面積を広くし、リッジ部での抵抗成分を低減することができるので、半導体レーザの駆動電圧を低減することが可能である。特に、この発明においては、リッジ部の共振器長方向の中央部における幅を $4\mu\text{m}$ 以上に設定し、かつ、リッジ部の共振器長方向の両端面における幅を $3\mu\text{m}$ 以下に設定した場合、駆動電圧を上昇させることなく、横モードの安定化を図ることができる。横モードの安定化については、リッジ部の共振器長方向の両端面における幅を $2\mu\text{m}$ 以下に設定し

た場合、高次の水平横モードの発生を抑制することができるので、より効果的である。

【0030】また、この発明によれば、リッジ部の共振器長方向の両端部のテーパ領域での波面整形効果により、遠視野像の水平方向のビーム拡がり角を広くすることができる上に、リッジ部の共振器長方向の両端面における幅を狭くすることによって、遠視野像の水平方向のビーム拡がり角をさらに広くすることができるので、この半導体レーザを光ディスク装置の光源に用いる場合、組み立て時に要求される厳しい位置精度を緩和することができる。また、この際、リッジ部の共振器長方向の中央部における幅を、リッジ部の共振器長方向の両端面における幅とは独立に広く設定することにより、電極コンタクト面積を減少させずに遠視野像の水平方向のビーム拡がり角の拡大を図ることができるため、信頼性良く遠視野像を整形することが可能である。

【0031】また、この発明によれば、リッジ部の共振器長方向の両端面における幅を狭くした場合、共振器端面の形状による端面反射率の低下、閾値電流の上昇、スロープ効率の変化を抑制することができる。これにより、共振器端面の形状のパラツキによるレーザ特性の悪化を防止することができるので、特性の良好な半導体レーザを高い製造歩留まりで得ることができる。また、リッジ部の共振器長方向の両端面における幅を狭くした場合、半導体レーザが戻り光によって攪乱される程度が抑制されるので、戻り光によって誘起されるノイズを低減することができる。この際、この発明では、リッジ部の共振器長方向の中央部における幅を、リッジ部の共振器長方向の両端面における幅とは独立に広く設定することができるので、リッジ部の共振器長方向の両端面における幅を狭くすることにより得られる利点を、駆動電圧を上昇させることなく得ることができる。

#### 【0032】

【発明の実施の形態】以下、この発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。なお、実施形態の全図において、同一または対応する部分には同一の符号を付す。

【0033】まず、この発明の第1の実施形態について説明する。図1および図2は、この発明の第1の実施形態によるGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N系半導体レーザを示す。ここで、図1は斜視図、図2は平面図である。このGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N系半導体レーザは、屈折率導波型のものである。

【0034】図1および図2に示すように、この第1の実施形態によるGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N系半導体レーザにおいては、例えば、c面のサファイア基板1上にアンドープのGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nバッファ層2を介して、n型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nコンタクト層3、n型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラッド層4、Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N活性層5、p型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nキャップ層6、p型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラッド層7およびp型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nコンタクト層8が順次積層されている。n型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラッド層4およびp型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラ

ッド層7のAl組成は例えば6~8%程度であり、Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N活性層5のIn組成は例えば15%程度である。このGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N系半導体レーザの発光波長は400nm程度である。また、p型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nキャップ層6のAl組成は20%程度である。

【0035】p型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラッド層7の上層部およびp型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nコンタクト層8は、一方向に延在するテーパストライプ型のリッジ形状を有する。符号9は、これらのp型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラッド層7の上層部およびp型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nコンタクト層8により構成されたリッジ部を示す。このリッジ部9の構成については、後に詳細に説明する。

【0036】n型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラッド層4、Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N活性層5、p型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nキャップ層6およびp型Al<sub>0.5</sub>Ga<sub>0.5</sub>Nクラッド層7の下層部は、一方向に延在する所定のメサ形状を有する。符号10はそのメサ部を示す。なお、図2においては、このメサ部10に対応する部分が示され、これに隣接する部分は図示省略されている。

【0037】リッジ部9の両側の部分には、例えば、Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N活性層5からの光を吸収しないSiO<sub>2</sub>電流狭窄層11が成膜され、これによって電流狭窄構造が形成されている。このSiO<sub>2</sub>電流狭窄層11は、電極間での短絡を防止するためにメサ部10の側面にも設けられている。また、このようにリッジ部9の両側にSiO<sub>2</sub>電流狭窄層11が成膜されることによって、リッジ部9に対応する部分の屈折率が高く、その両側の部分の屈折率が低いステップ状の屈折率分布が接合と平行な方向に作り付けられている。なお、ここでのリッジ内外の実効屈折率差 $\Delta n$ は、キャリアのプラズマ効果によってリッジ部9に対応する部分の屈折率が低下することを考慮して、好適には例えば $2 \times 10^{-3}$ 以上に選ばれる。この例の場合、リッジ内外の実効屈折率差 $\Delta n$ は例えば $2 \times 10^{-3}$ に設定される。

【0038】p型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nコンタクト層8およびSiO<sub>2</sub>電流狭窄層11の上には、例えばNi/Pt/Au電極のようなp側電極12が設けられ、メサ部10に隣接するn型Ga<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>Nコンタクト層3上には、例えばTi/Al電極のようなn側電極13が設けられている。

【0039】また、このGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N系半導体レーザの両共振器端面は、サファイア基板1をその上のレーザ構造を形成するGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N系半導体層と共に劈開（疑似劈開）することにより形成された疑似劈開面からなる。この場合、共振器端面から出射されるレーザ光が、サファイア基板1の表面で反射されることがなく、したがって、このレーザ光の遠視野像の形状は良好である。

【0040】上述のように構成されたこの第1の実施形態によるGa<sub>0.5</sub>In<sub>0.5</sub>N系半導体レーザでは、リッジ内外の実効屈折率差 $\Delta n$ 、すなわち、リッジ部9に対応する部分とその両側の部分との実効屈折率差 $\Delta n$ により、水平方向の光場がリッジ部9に対応する部分に閉じ込められる、

いわゆる屈折率導波（実屈折率導波）が実現されている。これにより、このGaN系半導体レーザでは、低閾値電流かつ比較的安定した水平横モードでの発振が得られている。さらに、このGaN系半導体レーザでは、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅が好適には $3\mu\text{m}$ 以下、より好適には $2\mu\text{m}$ 以下に設定されることにより、より一層の横モードの安定化を図ることが可能である。

【0041】以下に、この第1の実施形態によるGaN系半導体レーザにおけるリッジ部9の構成について詳細に説明する。

【0042】すなわち、図1および図2に示すように、このGaN系半導体レーザにおけるリッジ部9は、共振器長方向の両端部のそれぞれの領域に、共振器長方向の中央部から共振器長方向の両端部に向かう方向に、連続的に幅が減少するようにテーパが施されたテーパ領域9aを有する。また、このリッジ部9は、共振器長方向の中央部の領域に幅が均一なストレート領域9bを有する。

【0043】このリッジ部9において、共振器長方向の両端部に設けられた2つのテーパ領域9aは互いにほぼ等しい長さ $L_1$ を有する。これらのテーパ領域9aの合計の長さ $2L_1$ は、十分な波面整形効果が得られるように、例えば、共振器長 $L$ （ $L = 2L_1 + L_2$ 、 $L_2$ はストレート領域9bの長さ）の10分の1以上、すなわち、 $2L_1 \geq L/10$ となるように選ばれる。

【0044】また、図2において、 $W_1$ はリッジ部9の共振器長方向の両端面における幅を示し、 $W_2$ はリッジ部9の共振器長方向の中央部における幅を示す。ここで、幅 $W_1$ は、共振器長方向の両端面におけるリッジ部9の底部での幅を指し、幅 $W_2$ は、共振器長方向の中央部におけるリッジ部9の底部での幅を指す。これらのリッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1$ およびリッジ部9の共振器長方向の中央部における幅 $W_2$ は、 $W_1 < W_2$ の関係を満たしている。さらに、これらのリッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1$ およびリッジ部9の共振器長方向の中央部における幅 $W_2$ は、駆動電圧の上昇を抑制しつつ、横モードを安定に維持するために、好適には、 $W_1 \leq 3\mu\text{m}$ かつ $W_2 \geq 4\mu\text{m}$ となるように選ばれ、より好適には、 $2\mu\text{m} \leq W_1 \leq 3\mu\text{m}$ かつ $W_2 \geq 4\mu\text{m}$ となるように選ばれ、さらに好適には、 $W_1 \leq 2\mu\text{m}$ かつ $W_2 \geq 4\mu\text{m}$ となるように選ばれる。

【0045】ここで、この第1の実施形態によるGaN系半導体レーザの各部の寸法の一例を挙げると、共振器長 $L = 500\mu\text{m}$ 、リッジ部9のテーパ領域9aの長さ $L_1 = 100\mu\text{m}$ 、ストレート領域9bの長さ $L_2 = 300\mu\text{m}$ 、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1 = 2\mu\text{m}$ 、リッジ部9の共振器長方向の中央部における幅 $W_2 = 4\mu\text{m}$ である。

【0046】上述のように構成されたこの発明の第1の実施形態によるGaN系半導体レーザによれば、リッジ部9が共振器長方向の両端部のそれぞれの領域に、共振器長方向の中央部から共振器長方向の両端部に向かう方向に幅が減少するテーパ領域9aを有することにより、次のような種々の利点を得ることができる。

【0047】すなわち、この第1の実施形態によるGaN系半導体レーザにおいては、リッジ部9が共振器長方向の両端部にテーパ領域9aを有することにより、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1$ よりも、リッジ部9の共振器長方向の中央部における幅 $W_2$ の方が広くなる。そのため、横モードを安定に維持するために、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1$ を $3\mu\text{m}$ 以下、具体的には例示したように $2\mu\text{m}$ と狭く設定した場合であっても、それとは独立に、リッジ部9の共振器長方向の中央部における幅 $W_2$ を $4\mu\text{m}$ 以上、具体的には例示したように $4\mu\text{m}$ と広く設定することができる。これにより、p型GaNコンタクト層8とp側電極11とのコンタクト面積を広くし、リッジ部9での抵抗成分を低減することができるので、このGaN系半導体レーザの駆動電圧を低減することが可能である。

【0048】このように、この第1の実施形態によれば、駆動電圧を上昇させることなく、横モードを安定に維持することが可能である。特に、共振器長 $L = 500\mu\text{m}$ 、テーパ領域9aの長さ $L_1 = 100\mu\text{m}$ 、ストレート領域9bの長さ $L_2 = 300\mu\text{m}$ 、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1 = 2\mu\text{m}$ 、リッジ部9の共振器長方向の中央部における幅 $W_2 = 4\mu\text{m}$ に設定されたこの第1の実施形態によるGaN系半導体レーザの場合、図4および図5に示す従来のGaN系半導体レーザにおいて、共振器長 $L = 500\mu\text{m}$ 、リッジ部109の幅 $W = 3\mu\text{m}$ とした場合よりも電極コンタクト面積を広くとることができるので、横モードの安定化を図りつつ、駆動電圧を低減することができる。また、この第1の実施形態においては、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1$ が $2\mu\text{m}$ に設定されていることにより、キャリアのプラズマ効果を考慮に入れた基本モードの発振条件を満たすことが可能であり（図6参照）、したがって、高次の水平横モードの発生を抑制することができるので、横モードをより安定に維持することが可能である。

【0049】また、この第1の実施形態によれば、リッジ部9の共振器長方向の両端部のテーパ領域9aでの波面整形効果により、遠視野像の水平方向のビーム拡がり角 $\theta//$ を広くすることができる。これに加えて、この第1の実施形態では、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1$ が $2\mu\text{m}$ と狭く設定されていることにより、遠視野像の水平方向のビーム拡がり角 $\theta//$ がさらに拡大されている。具体的には、リッジ部109の幅

Wが $3\mu\text{m}$ の従来のGa N系半導体レーザでは、遠視野像の水平方向のビーム拡がり角 $\theta//$ が $6^\circ$ であるのに対して、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1$ が $2\mu\text{m}$ と狭窄化されたこの第1の実施形態によるGa N系半導体レーザでは、遠視野像の水平方向のビーム拡がり角 $\theta//$ を $8^\circ$ 程度まで拡大することができる。これにより、このGa N系半導体レーザを光ディスク装置の光源に用いる場合、組み立て時に要求される厳しい位置精度を緩和することができる。また、この際、リッジ部9の共振器長方向の中央部における幅 $W_2$ を、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1$ とは独立に広く設定することにより、電極コンタクト面積を減少させずに水平方向のビーム拡がり角 $\theta//$ の拡大を図ることができるため、信頼性良く遠視野像を整形することが可能である。

【0050】また、この第1の実施形態によれば、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1$ が $2\mu\text{m}$ と狭く設定されていることにより、共振器端面の形状（主にその傾き）による端面反射率の低下、閾値電流の上昇、スロープ効率の変化を抑制することができる。これにより、共振器端面の形状のバラツキによるレーザ特性の悪化を防止することができるので、特性の良好な半導体レーザを高い製造歩留まりで得ることができる。また、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1$ が $2\mu\text{m}$ と狭く設定されていることにより、このGa N系半導体レーザが戻り光によって撓乱される度合いが抑制されるため、戻り光によって誘起されるノイズを低減することもできる。この際、この第1の実施形態においては、リッジ部9の共振器長方向の中央部における幅 $W_2$ を、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1$ とは独立に広く設定することができるので、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1$ を狭くすることにより得られるこれらの利点を、駆動電圧を上昇させることなく得ることができる。

【0051】以上のように、この第1の実施形態によれば、リッジ部9が、共振器長方向の両端部のそれぞれの領域に、共振器長方向の中央部から共振器長方向の両端部に向かう方向に幅が減少するテーパ領域9aを有することにより、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1$ およびリッジ部の共振器長方向の中央部における幅 $W_2$ をそれぞれ最適化することができ、駆動電圧の低減、横モードの安定化、遠視野像の水平方向のビーム拡がり角 $\theta//$ の拡大、共振器端面の形状のバラツキによるレーザ特性の悪化防止およびノイズ特性の向上を容易に実現することができる。したがって、この第1の実施形態によれば、光ディスク装置の光源に適した、特性の良好なGa N系半導体レーザを得ることができる。

【0052】次に、この発明の第2の実施形態について説明する。図3は、この発明の第2の実施形態によるGa N系半導体レーザの平面図である。この第2の実施形

態によるGa N系半導体レーザでは、プロセス上のトレランスを考慮して、共振器長方向の両端面の近傍の所定の領域でリッジ部9の幅が一定にされる。なお、この第2の実施形態によるGa N系半導体レーザの接合と垂直な方向の構造は、第1の実施形態によるGa N系半導体レーザと同様に構成されている。

【0053】図3に示すように、この第2の実施形態によるGa N系半導体レーザにおけるリッジ部9は、共振器長方向の両端部のテーパ領域9aと両共振器端面との間のそれぞれの領域に、均一な幅 $W_1$ のストレート領域9cをさらに有する。図3において、 $L_3$ はこれらのストレート領域9cの長さを示す。ここで、これらのストレート領域9cは、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅を確実に $W_1$ とするために設けられるものであり、これらのストレート領域9cの長さ $L_3$ は極力短くすることが望ましい。この場合、これらのストレート領域9cの長さ $L_3$ の上限は、例えば $20\sim 25\mu\text{m}$ 程度に選ばれる。

【0054】ここで、この第2の実施形態によるGa N系半導体レーザの各部の寸法の一例を挙げると、共振器長 $L=500\mu\text{m}$ 、リッジ部9のテーパ領域9aの長さ $L_1=100\mu\text{m}$ 、共振器長方向の中央部のストレート領域9bの長さ $L_2=250\mu\text{m}$ 、共振器長方向の両端部のストレート領域9cの長さ $L_3=25\mu\text{m}$ 、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1=2\mu\text{m}$ 、リッジ部9の共振器長方向の中央部における幅 $W_2=4\mu\text{m}$ である。

【0055】この第2の実施形態によるGa N系半導体レーザの上記以外の構成は、第1の実施形態によるGa N系半導体レーザと同様であるので、説明を省略する。

【0056】この第2の実施形態によれば、第1の実施形態における同様の利点を得ることができると共に、次のような利点を合わせて得ることができる。すなわち、この第2の実施形態においては、リッジ部9の共振器長方向の両端部の領域に均一な幅 $W_1$ のストレート領域9cが設けられていることにより、共振器を加工する際に、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅を確実に $W_1$ とすることができる。これにより、共振器長方向の両端面におけるリッジ部9の幅が $W_1$ で、かつ、共振器長方向の中央部におけるリッジ部9の幅が $W_2$ であるようなテーパストライプ型のリッジ構造を有するGa N系半導体レーザを高い製造歩留まりで得ることができる。

【0057】以上、この発明の実施形態について具体的に説明したが、この発明は、上述の実施形態に限定されるものではなく、この発明の技術的思想に基づく各種の変形が可能である。

【0058】例えば、上述の第1および第2の実施形態において挙げた数値、構造、材料などはあくまで例にすぎず、必要に応じてこれらと異なる数値、構造、材料な



どを用いてもよい。

【0059】具体的には、上述の第1および第2の実施形態における共振器長 $L$ 、リッジ部9の共振器長方向の両端部のテーパ領域9aの長さ $L_1$ 、リッジ部9の共振器長方向の中央部のストレート領域9bの長さ $L_2$ 、リッジ部9の共振器長方向の両端部のストレート領域9cの長さ $L_3$ 、リッジ部9の共振器長方向の両端面における幅 $W_1$ 、リッジ部9の共振器長方向の中央部における幅 $W_2$ の値は、第1および第2の実施形態において挙げた諸条件を満たしていれば、任意に設定することができる。

【0060】また、上述の第1および第2の実施形態において、リッジ部9の共振器長方向の両端部のそれぞれの領域に設けられた2つのテーパ領域9aは、フロント側とリア側とで対称である必要はなく、さらに、リッジ部9の両側面も左右非対称であってもよい。また、リッジ部9のテーパ領域9aは、共振器長方向の中央部から共振器長方向の両端部に向かう方向に幅が単調に減少するのであれば、その側面が平面で構成されている必要はなく、例えば内側または外側に湾曲した曲面で構成されていてもよい。また、リッジ部9の共振器長方向の中央部のストレート領域9bの長さ $L_2$ を0として、リッジ部9を共振器長方向の両端部のテーパ領域9aのみ、または、テーパ領域9aおよびストレート領域9cのみとしてもよい。

【0061】また、上述の第1および第2の実施形態においては、リッジ部9の両側に埋め込まれる電流狭窄層の材料として $\text{SiO}_2$ が用いられているが、この電流狭窄層の材料としては、これ以外にも $\text{AlGaInN}$ 、 $\text{GaInN}$ 、 $\text{GaN}$ などの窒化物系III-V族化合物半導体、 $\text{SiN}$ などの誘電体、 $\text{ZnS}$ などのII-VI族化合物半導体を用いてもよい。

【0062】また、上述の第1および第2の実施形態において、レーザ構造を形成する各半導体層の導電型を反対にしてもよい。

【0063】また、上述の第1および第2の実施形態においては、基板としてサファイア基板を用いているが、これは、サファイア基板に代えてスピネル基板、 $\text{SiC}$ 基板、 $\text{ZnO}$ 基板、 $\text{GaP}$ 基板などを用いてもよいし、あるいは、これらの基板上に窒化物系III-V族化合物半導体層が成長された基板、これらの基板上に窒化物系III-V族化合物半導体層を成長させた後、基板を研磨等で取り去り窒化物系III-V族化合物半導体層のみを持つ基板、 $\text{GaN}$ 基板のような窒化物系III-V族化合物半導体そのものからなる基板などを用いてもよい。

【0064】また、上述の第1および第2の実施形態においては、この発明をDH構造(Double Heterostructure)

re)の $\text{GaN}$ 系半導体レーザに適用した場合について説明したが、この発明はSCH構造(Separate Confinement Heterostructure)の $\text{GaN}$ 系半導体レーザに適用することも可能である。

【0065】

【発明の効果】上述のように構成されたこの発明によれば、リッジ部が、共振器長方向の両端部に共振器長方向の中央部から共振器長方向の両端部に向かう方向に幅が減少するテーパ領域を有することにより、リッジ部の共振器長方向の中央部における幅およびリッジ部の共振器長方向の両端面における幅をそれぞれ最適化することができるので、駆動電圧の低減、横モードの安定化、遠視野像の水平方向のビーム拡がり角の拡大、共振器端面の形状のバラツキによるレーザ特性の悪化防止およびノイズ特性の向上を容易に実現することができる。これにより、光ディスク装置の光源に適した、特性の良好な窒化物系III-V族化合物半導体を用いた半導体レーザを得ることができる。

【図面の簡単な説明】

20 【図1】 この発明の第1の実施形態による $\text{GaN}$ 系半導体レーザの斜視図である。

【図2】 この発明の第1の実施形態による $\text{GaN}$ 系半導体レーザの平面図である。

【図3】 この発明の第2の実施形態による $\text{GaN}$ 系半導体レーザの平面図である。

【図4】 従来の $\text{GaN}$ 系半導体レーザの斜視図である。

【図5】 従来の $\text{GaN}$ 系半導体レーザの平面図である。

30 【図6】  $\text{GaN}$ 系半導体レーザにおける基本モードの共振条件を示すグラフである。

【図7】  $\text{GaN}$ 系半導体レーザにおける共振器端面の傾きとレーザ光の出射方向との関係を示すグラフである。

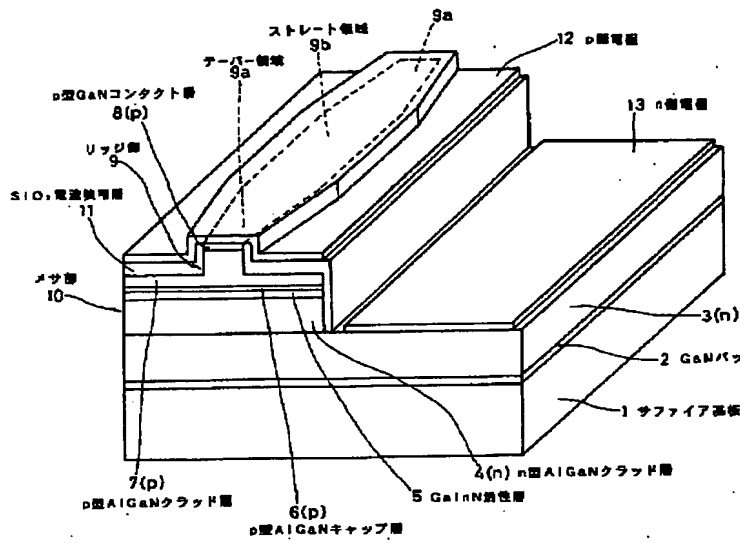
【図8】  $\text{GaN}$ 系半導体レーザにおける共振器端面の傾きと端面反射率との関係を示すグラフである。

【図9】  $\text{GaN}$ 系半導体レーザにおける共振器端面の傾きと閾値電流の上昇分との関係を示すグラフである。

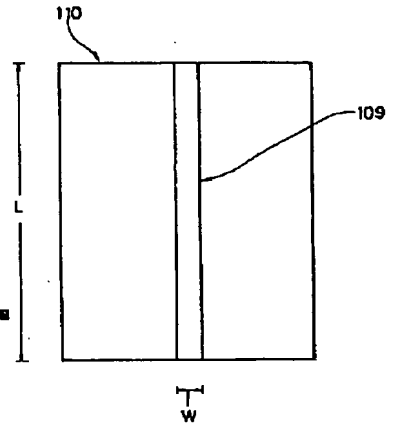
【符号の説明】

40 1・・・サファイア基板、2・・・ $\text{GaN}$ バッファ層、3・・・ $n$ 型 $\text{GaN}$ コンタクト層、4・・・ $n$ 型 $\text{AlGaIn}$ クラッド層、5・・・ $\text{GaInN}$ 活性層、6・・・ $p$ 型 $\text{AlGaIn}$ キャップ層、7・・・ $p$ 型 $\text{AlGaIn}$ クラッド層、8・・・ $p$ 型 $\text{GaN}$ コンタクト層、9・・・リッジ部、9a・・・テーパ領域、9b、9c・・・ストレート領域、10・・・ $\text{SiO}_2$ 電流狭窄層、11・・・ $p$ 側電極、12・・・ $n$ 側電極

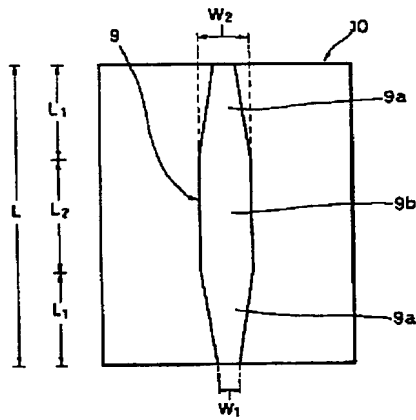
【図1】



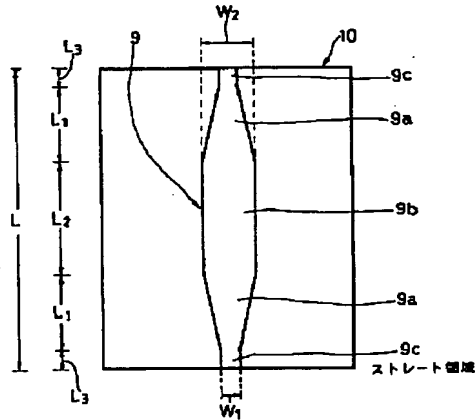
【図5】



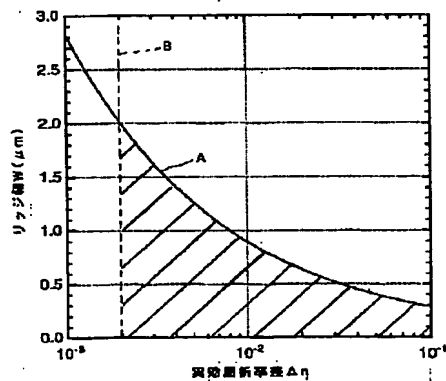
【図2】



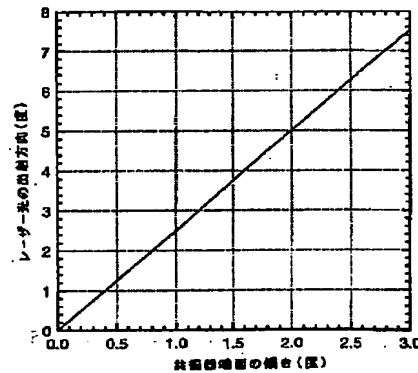
【図3】



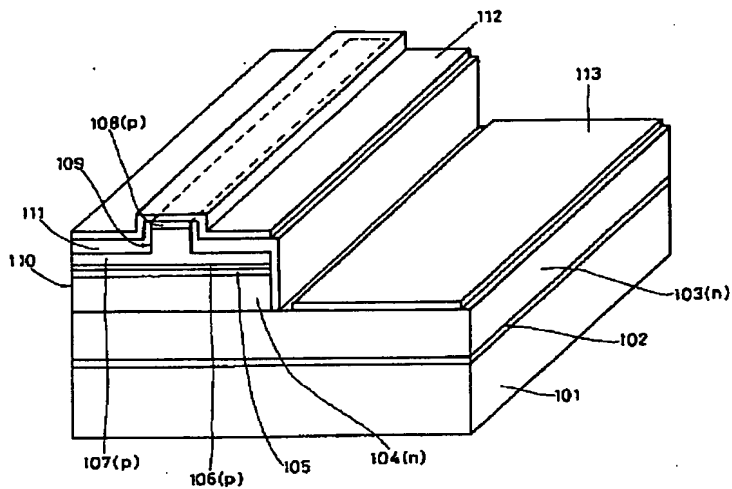
【図6】



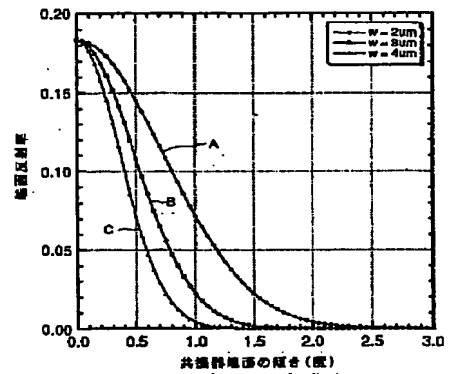
【図7】



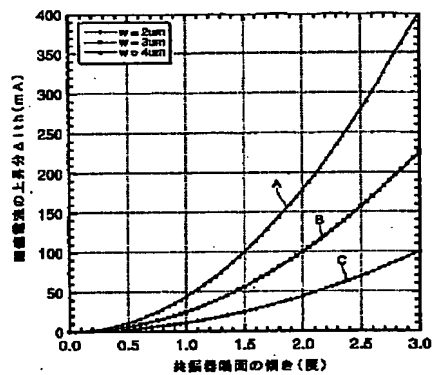
【図4】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 内田 史朗  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内

(72)発明者 平田 照二  
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ  
ー株式会社内

Fターム(参考) 5F041 AA06 CA04 CA34 CA40 CA46  
5F073 AA13 AA35 BA06 CA07 CB05  
EA19 EA27